

AQUANIVEL

Sistema de Control por Nivel de Agua Embalsada

Ing. Victor Hugo Kurtz
Universidad Nacional de Misiones
e-mail: kurtzvh@fiobera.unam.edu.ar

RESUMEN DEL TRABAJO

En el presente trabajo se exponen dos aplicaciones del "AQUANIVEL¹" (sistema de control por nivel de agua embalsada), implementado en distintos microaprovechamientos hidroeléctricos, en la provincia de Misiones, Argentina.

PALABRAS CLAVES

Microturbina. Nivel de agua embalsada. Microgeneración eléctrica aislada. Microgeneración eléctrica en paralelo. Operación de centrales. Automatismo.

ABSTRACT

In this paper, two applications of the " AQUANIVEL " (control system for level of dammed water) are exposed, implemented in different small hydroelectric central, in hydroelectric , Argentina.

, a carrier wave remote control system is described, applied this to the control of small hydroelectric central .

Some solutions are illustrated, to revolve problems presented with the signal transmission using the line of electric power like half of transport.

KEYWORDS

Remote control, Telecontrol, Control at Distance, Microgeneration. Carrier wave, Servocontrol. Automatism. Small Hydropower Plants.

INTRODUCCIÓN

En los pequeños aprovechamiento hidroenergéticos, la generación eléctrica se produce generalmente en forma autónoma, controlando automáticamente, el caudal, la frecuencia y la tensión generada.

Otra variable no menos importante, y no siempre atendida en forma automática, es el nivel de agua embalsada.

¹ Nombre genérico dado por el autor desde 1985, a distintos sistemas de indicación y detección, del nivel de agua en el embalse.

Si el nivel de agua en la presa desciende por debajo de niveles admisibles, puede ocurrir que el agua turbinada no alcance a llenar toda la sección de la tubería forzada, pudiendo producir: corrosión, sedimentación, obstrucciones e inestabilidad en la generación.

La variación del nivel de agua en el embalse, constituye un caso frecuente en Misiones, donde en épocas de estiaje, el caudal del curso de agua y su cuenca, desciende a un 10% del caudal nominal, con el agravante de que estas fluctuaciones no son cíclicas, como es el caso de los arroyos de montañas, donde se tienen períodos de hielo-deshielo bien definidos .

TIPOS DE GENERACION

La energía hidráulica disponible en forma mecánica en el eje de la turbina, es posible transformar en energía eléctrica, por medio de generadores del tipo: *Sincrónicos* y *Asincrónicos*.

Generación Sincrónica:

La generación sincrónica, ampliamente estudiada y difundida, requiere de equipamiento especial y sofisticado para su funcionamiento y control, mas aun, en centrales que trabajen en paralelo y sin personal permanente, como es el caso de la microgeneración en la Provincia de Misiones.

Generación Asincrónica:

Los generadores asincrónicos comúnmente utilizados en los microaprovechamientos hidroelectricos, son generalmente motores eléctricos de inducción con rotor “jaula de ardilla”, del tipo comercial estándar.

La generación se produce accionando "el motor" a velocidad de hipersincronismo (velocidad superior a la de sincronismo) y excitando el estator con una determinada tensión. Este tipo de generación, presenta algunas ventajas que su símil sincrónico, cuando opera en paralelo con una red de gran potencia.

FUNCIONAMIENTO AISLADO O INTERCONECTADO

Básicamente los sistema de microgeneración hidráulicas se pueden clasificar en: *aislados o independientes, interconectados o en paralelo, y mixtos*.

Centrales Interconectadas o En Paralelo:

Se denominan centrales interconectadas, a los sistema de microgeneración que funcionan en paralelo con otro sistema energético de mayor potencia.

El comportamiento de un motor como generador en estos casos, es muy bueno, ya que la tensión y la frecuencia son impuestas por la red, lo que hace innecesario el uso de regulador de tensión y frecuencia.

Centrales Aisladas o Independientes

Las centrales de funcionamiento aislado, son aquellas que poseen todos los elementos necesarios para funcionar sin estar conectado a una red de mayor potencia.

Centrales Mixtas

Son aquellas que pueden funcionar, tanto en paralelo como en forma independiente.

Centrales Autónomas

Se denominan centrales autónomas, las que pueden generar energía eléctrica en forma automática, esto es, sin la atención permanente de un operario. Pueden ser, a su vez: aisladas, interconectadas o mixtas.

EL AQUANIVEL EN SISTEMAS AISLADOS

En microcentrales de funcionamiento aislado, el *Aquanivel* “avisa” a los usuarios, que el nivel de agua represada se encuentra por debajo de una cota prefijada, iduciendolos a retirar cargas, con el fin de economizar agua. Esta primera etapa se denomina estado **de alarma**.

Si el nivel de agua, desciende por debajo de un segundo punto, denominado **de cierre**, se produce la interrupción de la generación eléctrica por una espacio de tiempo regulable, posibilitando almacenar fluido, para producir electricidad por un período mas.

El sistema *Aquanivel*, esta conformado por dos subsistemas: Uno para la situación de alarma y otro para la de cierre, que se unen en la unidad de potencia, que comanda el alabe de la turbina, ver fig. 01.

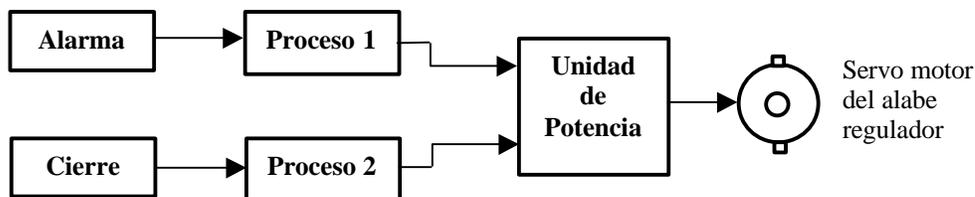


Figura 01: Diagrama en bloques del sistema de alarma y cierre

En los diagramas en bloques de las figuras 02 y 04, se muestran dos formas de implementar el sistema del *Aquanivel* para sistemas aislados.

En el croquis de la figura 02, representa una serie de temporizadores, formados por monoestables en cascada, permitiendo un ajuste independiente de los tiempos de apertura, espera y cierre.

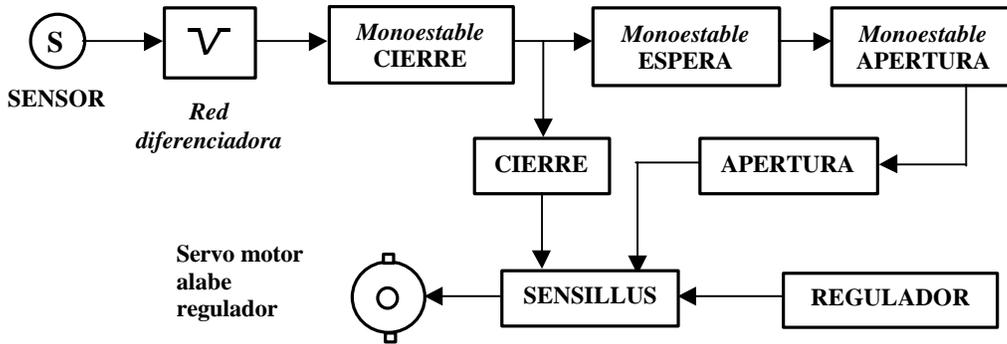


Figura 02: *Aquanivel*: Diagrama en bloques del sistema de temporización en escalera

El sensor de nivel de agua en el embalse, suministra información al sistema del nivel de cierre. Una red diferenciadora provee un pulso que dispara el primer temporizador (monoestable de cierre), el cual envía al cierre el alabe regulador de caudal de la turbina, accionado por un servo motor. Una vez culminado el periodo de temporización del primer monoestable, por medio otra red diferenciadora, se dispara el segundo multivibrador, que proporciona el tiempo de espera, una vez concluido este, es activado el último de los temporizadores, el de apertura, finalizando el ciclo de operación, ver diagrama temporal de la figura 03.

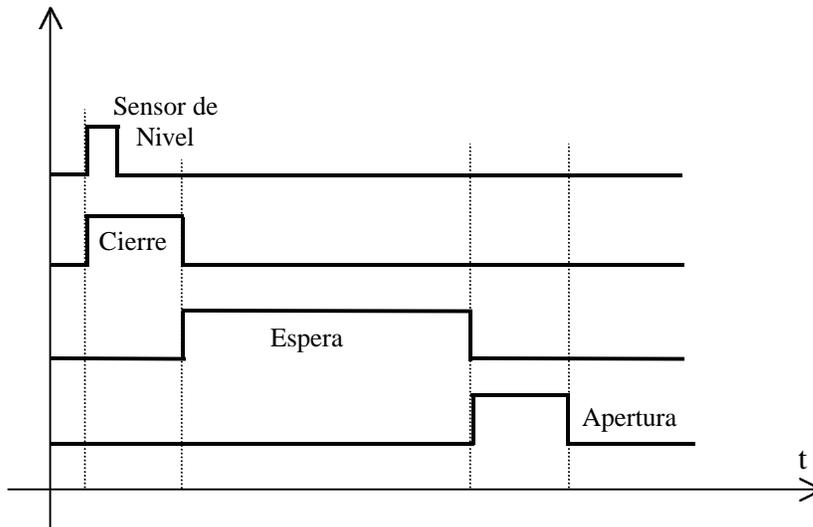


Figura 03: *Aquanivel*, Diagrama de tiempos. Temporización en escalera

Como el periodo de espera es mucho mayor que el de cierre, es posible disparar el temporizador de espera y cierre, en el mismo instante, ver figura 04 y 05.

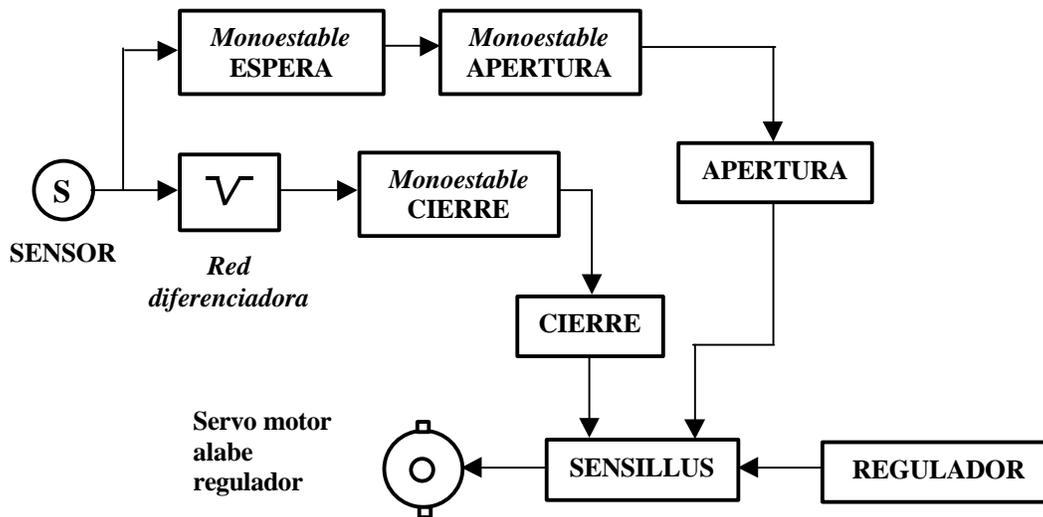


Figura 04: *Aquanivel*: Diagrama en bloques del sistema de temporización en paralelo.

Participación del “*Sensillus*”

El “*Sensillus*²”, es un sistema muy simple (de ahí su nombre), que evita la acción de regulador de frecuencia, cuando el *Aquanivel*, se pone en acción.

Supóngase, que el *Aquanivel* envía la orden de cerrar el alabe regulador de la turbina (por que el agua en la presa, se encuentra por debajo de los limites admisibles para la generación) esta acción, es interpretada por el regulador electrónico de frecuencia, como una disminución de la frecuencia generada, por lo que genera la orden de apertura del alabe, para contrarrestar la disminución de la frecuencia. Esta acción se opone a la enviada por el *Aquanivel*, incurriendo en una incompatibilidad, que es salvada con la inclusión del mecanismo del *Sensillus*.

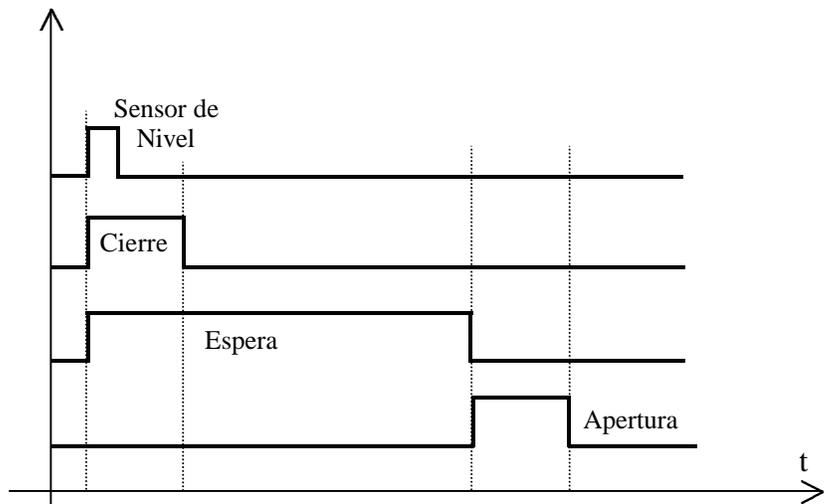


Figura 05: *Aquanivel*, Diagrama de tiempos. Temporización en paralelo

² Sensillus I: Nombre que le dio el autor, en 1984 a un sistema electrónico de control de microgeneración.

EL AQUANIVEL EN SISTEMAS MIXTOS

Supóngase un sistema de microgeneración que pueda alimentar un núcleo de pobladores, que llamaremos “*circuito uno*” y que a su vez se encuentre conectado en paralelo con una línea de distribución comercial, ver figura 06.

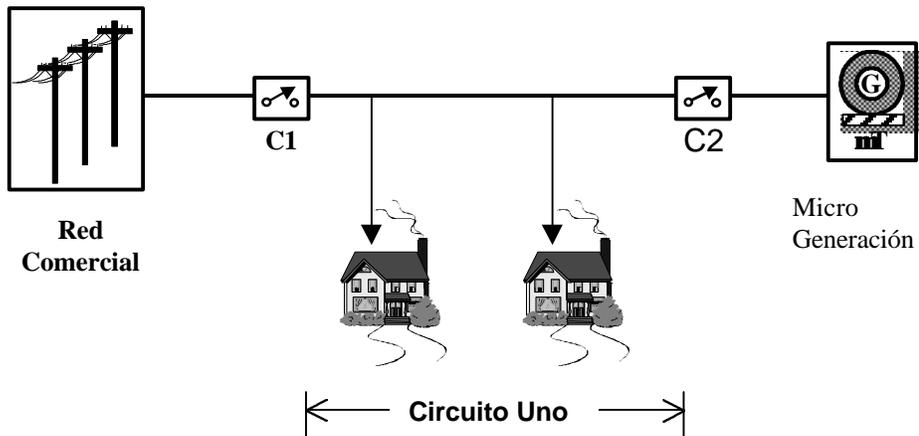


Figura 06: Sistema de generación mixta

Si se interrumpe el suministro de energía en la red de gran potencia, la microcentral puede alimentar el consumo del “*circuito uno*”, mientras dure el corte de energía, librando el interruptor C1 y efectuando una maniobra de ***Puesta en Funcionamiento de generación independiente***, precedida de la maniobra de ***Cierre por Falta de Energía Comercial***, ver figuras 07.

Cuando retorna la energía en la red principal, se efectúa la maniobra de ***Desactivación de la Generación Independiente***, para iniciar la maniobra de ***Puesta en Paralelo***.

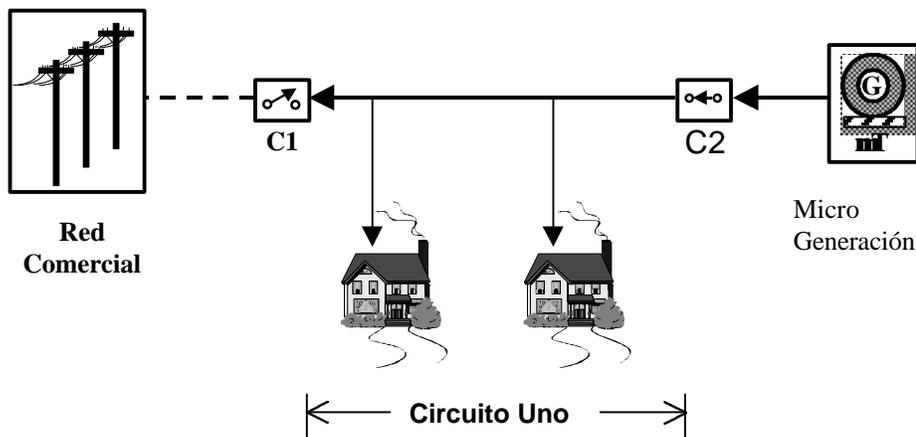


Figura 07: Alimentación del “*circuito uno*”, desde la microcentral.

Por otro lado, puede ocurrir que la microcentral deba salir de servicio, por que el caudal tubinado no es suficiente y el generador se comporta como motor, consumiendo energía de la red. En este caso, cuando el nivel de agua se encuentre por debajo de un nivel admisible, el *Aquanivel*, efectúa la maniobra de ***Cierre por Falta de Agua***, y libera el contacto C2, mientras que el “*circuito uno*” es alimentado por la red comercial, ver figura 08.

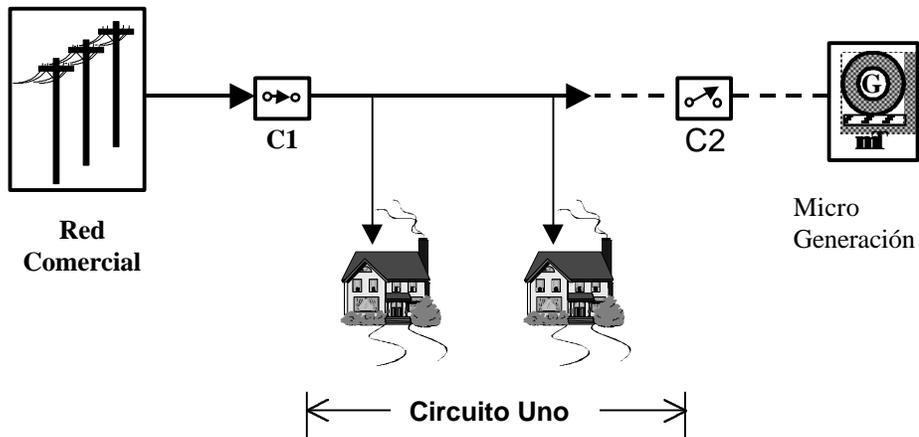


Figura 08: Alimentación del “circuito uno”, desde la red comercial

En el diagrama de flujo de la figura 09, se ilustra las distintas acciones de la generación en un sistema de generación mixta.

El Aquanivel en Sistemas Interconectados

En sistemas interconectados, una vez concluida la operación de puesta en paralelo, el grupo turbo-generador entrega a la red, una cantidad de energía proporcional al caudal turbinado.

Ya que el caudal no es constante todo el año, se tendrá distintos puntos de funcionamiento para distintas épocas del año.

Como no siempre se posee los suficientes datos de aforamiento de las cuencas que integran el aprovechamiento, es menester buscar otro método de ubicación del punto de trabajo, que

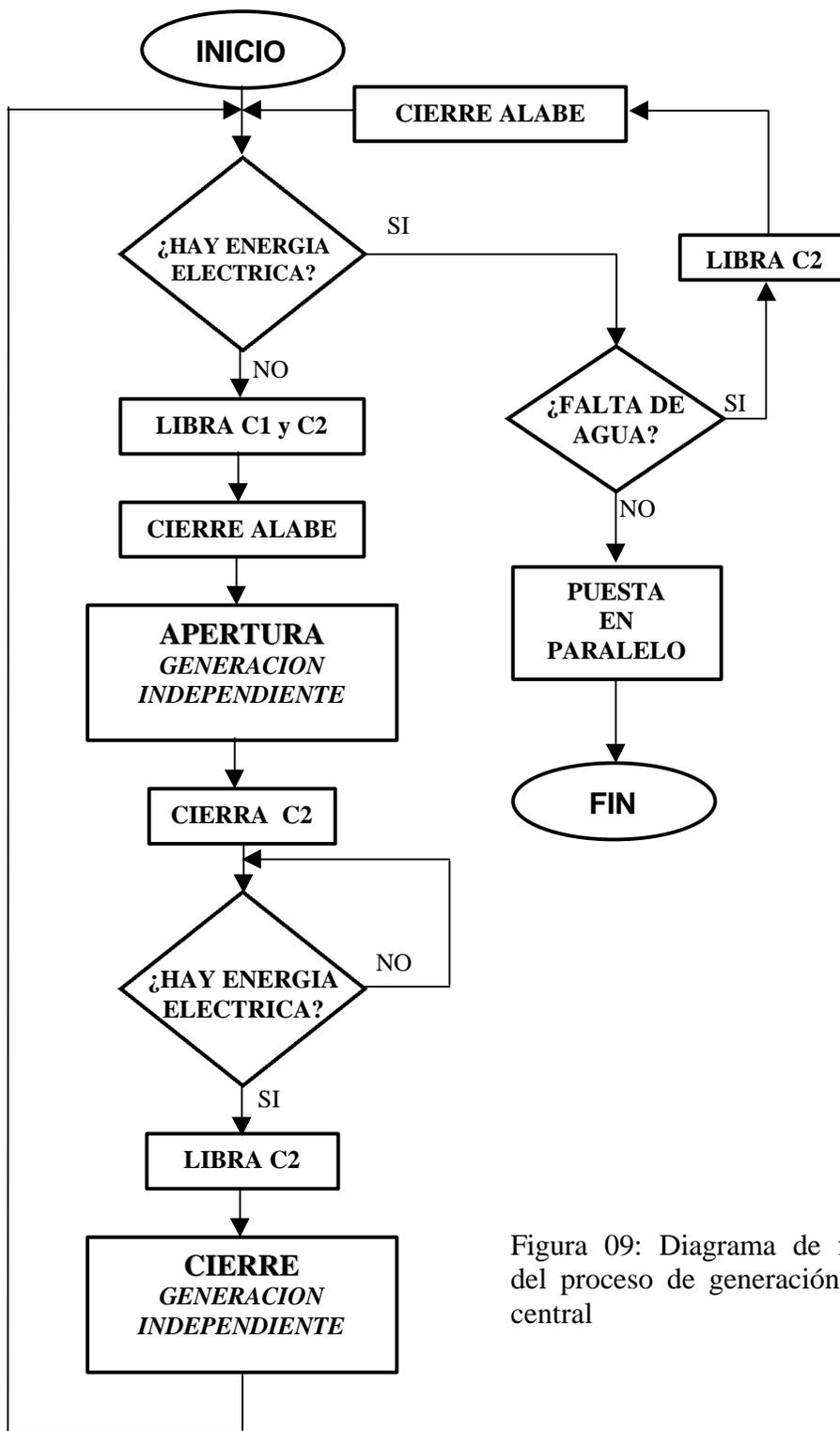


Figura 09: Diagrama de flujo del proceso de generación con central

aquel que resulta de contrastar planillas de caudales con épocas del año y determinar el punto de trabajo.

Un método práctico de operación en paralelo³ (Kurtz 1997) , es que la máquina funcione siempre a la potencia nominal, no importando la época del año.

En época de estiaje la máquina turbinará el caudal módulo hasta que se agote el fluido de reserva en el embalse. Con la ayuda de un Aquanivel, es posible ubicar automáticamente, distintos puntos de trabajo de la generación en paralelo.

Por otro lado, una vez concluida la reserva de agua, el Aquanivel produce la salida del generador del paralelo, evitando que éste funcione como motor consumiendo energía de la red. Al tiempo que los usuarios pasan a consumir energía de la red principal, mientras se almacena más agua en la presa para una nueva generación.

Corrimiento del Punto de Trabajo

Según lo expresado anteriormente se tendría períodos generados y períodos no generados, estos últimos mayores. Para evitar cortes frecuentes, es posible correr el punto de trabajo de la máquina, esto es: suponer un nuevo límite de corriente generada que puede ser, por ejemplo $\frac{3}{4}$ de la corriente nominal, en estas condiciones se podría generar más tiempo pero menos energía horaria.

Se elige el punto de trabajo (porcentaje de la corriente nominal), en función de la época del año, y se hace trabajar la máquina a esa nueva corriente nominal. Cuando los desacoples sean muy frecuentes se corre el punto de trabajo más abajo.

Punto de Trabajo

La potencia entregada por el grupo Turbina-Generador se puede expresar como:

$$P = K_1 UI$$

U: Tensión generada.
I: Corriente generada.
K₁: Constante.

La potencia que entrega la máquina hidráulica en función del caudal tiene una ecuación del tipo:

$$P = RQH$$

R: Constante de proporcionalidad.
Q: Caudal turbinado.
H: Desnivel (altura).

Igualando ambas expresiones se tiene: $K_1 UI = RQH$

Agrupando $I = \frac{RH}{UK_1} Q$

Como la altura es una constante y suponemos que la tensión permanezca constante, es posible encerrar el término $\frac{RH}{UK_1}$ en una nueva constante K, quedando

$$I = KQ$$

³ Método presentado por el autor en el sistema de puesta en paralelo de generadores asincrónicos, denominado PARALEX.

Donde la corriente generada es directamente proporcional al caudal turbinado.

Representando la función $I=f(Q)$ se tiene:

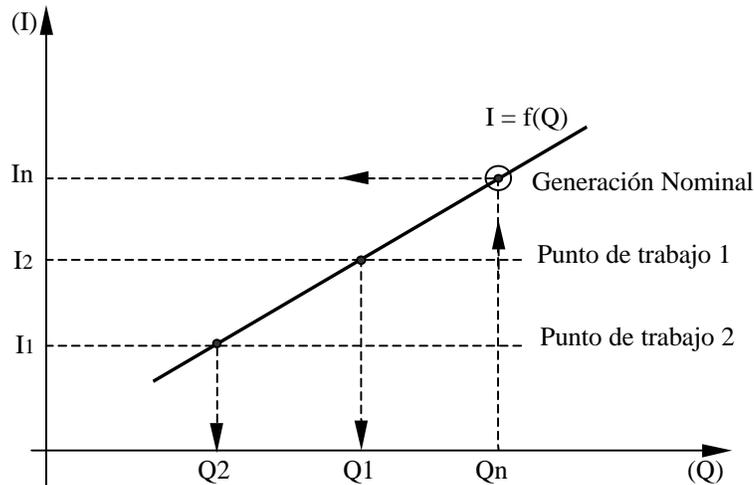


Figura 10: Puntos de Trabajo. Generación en Paralelo

Para distintos puntos de trabajo menores que el nominal se tiene menores caudales que el nominal. El sistema "PARALELEX", tiende a mantener el punto de trabajo sobre la curva $I=f(Q)$. En la gráfica se observa otros posibles puntos de trabajo. En la práctica se elige el punto de trabajo de generación nominal algo menor que el que se tendría para la máxima apertura del alabe regulador de la turbina.

SENSORES DE NIVEL

Como sensores de nivel de agua en el embalse, se analizaron y utilizaron, varios tipos de sensores, siempre teniendo en cuenta el factor económico.

Sensor por conducción eléctrica:

Este tipo de sensor, opera detectando la resistencia que presenta el agua al paso de la corriente eléctrica. Es tal vez, uno de métodos de detección mas económico, pero presenta algunos inconvenientes; uno de ellos es, que la fluctuación del agua en el entorno del punto de actuación, produce información inestable del nivel de agua. Otro inconveniente es que el circuito de detección se encuentra permanentemente energizado. Finalmente, como el sistema electrónico de detección, se encuentra en contacto directo con el espejo de agua, que presenta una especial atracción a la descargas atmosféricas, (muy abundante en la provincia de Misiones), está sujeto a averías frecuente, ver fig 11.

Sensor con Microcontactos Magnéticos

El sensor con microcontactos magnéticos a lengüeta (*reed-switch*), está formado por al menos dos microcontactos, accionados por el campo magnético generado desde un imán permanente,

CONCLUSIÓN

- Algunas de las soluciones propuestas, pueden parecer anticuadas o muy simples, sin embargo en la práctica presentaron un desempeño satisfactorio.
- La utilización de sistemas y circuitos tradicionales, permite el uso de elementos de fácil adquisición en el mercado local.

En las unidades electrónicas, se ha dado prioridad, al montaje de tipo modular enchufable. Este tipo de montaje, permite una rápida reparación por simple sustitución del módulo defectuoso, inclusive por personal no especializado.

Los módulos averiados, pueden ser enviados para su reparación a los grandes centros urbanos, por medio de transportes colectivos.

Las unidades modulares, permiten mantener un “*stock*” de respuesto en el aprovechamiento mismo, con un costo inferior, al que por ejemplo se tendría, en concepto de viáticos del personal encargado de las reparaciones.

- Los mecanismos simples y visibles, brindan confianza los encargados locales del mantenimiento. Inclusive estos muchas veces no solo reparan por su cuenta, sino que, también llegan a optimizar los sistemas.
- Los conceptos presentados para Aquanivel, no solo posibilitan la implementación de sistemas con componentes discretos sino que proporciona lineamientos generales, para la implementación con elementos de control más modernos, como ser: autómatas programables (PLC, SLP, etc), computadoras personales, microprocesadores o microcontroladores, entre otros.

BIBLIOGRAFIA

- **MICROTURBINA EN MISIONES**- E. Barney - FIO - UNaM.
 - **GENERACION ASINCRONICA**- H. Muñoz - A. Gonzalez - FIO - UNaM.
 - **PAUTAS PARA GENERACION EN PARALELO CON GENERADORES ASINCRONICOS** - Victor H. Kurtz - FIO - UNaM.
 - **PARALELOS** - P. Santander - Victor H. Kurtz - FIO - UNaM.
 - **PARALELO DE GENERADORES ASINCRONICOS** - J. Bycovich. Rev. Tec. e Industria (Bs. As.).
 - **REVISTA TECNICA MEGAVATIOS N° 62** - Bs. As.
 - **INFORME C.E.D.E. 1982.**
 - **MAQUINAS MOTRICES, GENERADORES DE ENERGIA ELECTRICA** - CEAC.
 - **ELECTRONICS LOAD CONTROL FOR MICRO HYDROPOWER PLANTS** - Meir - Detti - SKAT St. Gallen - Zwitterland.
 - **PUESTA EN PARALELO DE MICROCENTRALES –SISTEMAS Y CIRCUITOS PRACTICOS PROBADOS-** VII Encuentro Latinoamericano en Pequeños Aprovechamientos Hidroenergeticos, Cajamarca- Perú, Victor H. Kurtz, 1997.
 - **PARALELEX, PUESTA EN PARALELO DE MICROCENTRALES HIDROELECTRICAS.** Revista Imagen, Facultad de Ingeniería. UNaM, N°3 – Año 2 – Junio de 1997, Victor H. Kurtz.
 - **PUESTA EN PARALELO DE MICROCENTRALES HIDROELECTRICAS CON GENERADORES ASINCRONICOS.** Revista Ingeniería Eléctrica, Año 14 – N°146 – Junio de 2001, Victor H. Kurtz.
-

Ing. Victor Hugo Kurtz
Profesor del Departamento de Electrónica
Universidad Nacional de Misiones
Facultad. de Ingeniería
Tel. 03755-422160 (Facultad)
e-mail: kurtzvh@fiobera.unam.edu.ar